

1960年代初期の宇宙線研究

--- 乗鞍宇宙線観測所をめぐって ---

宇宙線を追う人々：科学朝日 1963年12月号より

乗鞍観測所設立60周年記念資料

2013年7月

西村 純



西村 純

東京を夜遅くたった東海道の下り急行は翌朝早く岐阜着く。ここから高山線に乗りかえて行く高山は北アルスを背景にひかえた静かな町である。年に一度の「高祭」には近在を問わず人が集り、『飛騨の工匠』はお祭山車(だし)にその腕をふるう。

高山からバスで約2時間、乗鞍の中腹平湯峠を右に折してなおも急坂を登るとやがてかん木帯は切れて、ハイツと高山植物が茂る終点にたどりつく。ここから徒歩約10分、赤色の巨大なタンクをそばに総建坪約330m²の乗鞍宇宙線観測所を望見することができる。ここは全国の研究者が共同利用する研究所である。

この研究所では、日夜を問わず、そして雪の深い冬の時期にも、数名から10数名の研究者が宇宙線の観測にいそんでいる。

研究所の周囲100mのあたりに点々とおいてある白い箱、その中には測定器が詰めこまれ、天空から一団となって降り注ぐ空気シャワーの到来をまっている。この装置の主要部分は、もちろん、研究室の中におかれている。空気シャワーの到来のたびにドカンという大音響がとどろく、霧箱(きりばこ: Cloud Chamber)とよばれる装置を動かすためである。

このどりの部屋に鉛板と宇宙線をとらえる特殊写真乾板と鉛板を組合わせた装置が置かれ、宇宙線の到来をまち、別室には大型マグネットに乾板を入れて新しい測定法の開発がおこなわれている。

研究所の裏手にあたる通称中性子小屋、ここでは大きなパラフィンの中に測定器が埋められ、時々刻々降り注ぐ宇宙線の数をかぞえている。日が山かげに没するころ、食堂の鐘がなりわたり、夕食の時を知らせる。夕食後のひととき、レコードに耳を傾けるもの、テレビを楽しむもの。やがてまた研究室にもどり、仕事を続ける。このようにして研究所の夜はふけてゆく。

南米大陸10カ国のうちに海のない国が二つある。それはパラグアイとボリビアである。ボリビアはアンデス山脈にかこまれた高原地帯、チチカカ湖のほとり、中心地のラパスは高度約4,000mで、富士山を優に越す高さである。南米の宇宙線研究者たちが合同して、ラパスの近くチャカルタヤ山上に世界で最も高い宇宙線観測所を開いたのは、戦後間もなくのことであった。ここは高度5,500mで、不時にそなえて酸素吸入器が備えられている。

チャカルタヤ観測所が世界中の宇宙線研究者の注目を集めたことが、これまでに二度あった。最初は戦後間もなくここに、露出した乾板で宇宙線中の湯川中間子をとらえたとき、そしてもう一度は現在である。

いまから3年前、1人の日本人がこの観測所に招かれた。原子核研究所の菅浩一氏である。日本とボリビア、そしてアメリカの協同でおこなう空気シャワー観測装置の建設とその実験遂行の任務を持っていた。原子核研究所に建設された空気シャワー測定装置の技術と知識が動員され、方鉛鉱400tが運びこまれてこの装置が完成した。山はだに点在する観測装置、そしてその2年後に原子核研究所の藤本陽一氏(現在早大教授)らがまたこの観測所を訪れた。

乗鞍で成功をおさめた原子核乾板による研究をさらに一歩進めるべく、ブラジルとの共同研究をこの観測所でおこなうためであった。鉛板と乾板が約10m²に敷き詰められ宇宙線の到来をまっている(第1図)。

空気の澄みきったチャカルタヤの夜空には南天の星が、この世のものと思えない美しさで輝いていた。

東海道本線の焼津に近く、列車はトンネルをくぐり抜ける。つい数年前まで本線は山側を走りこのトンネルは廃坑となっていた。ときおり土地の人が「原子がはぜる」と呼ぶ、ドカンドカンという音が響いたものである。大阪市立大学の波瀬研究室が地下宇宙線の観測をおこなうため霧箱を作動させる音であった。トンネルの暗ヤミの中で休みなく観測は10年間続けられてきた。

Interesting Story on Cosmic Ray

by Jun Nishimura

東海道新幹線工事のため、この日本坂トンネルにはふたび列車が通過することとなった。10年間の成果を基礎に一半は山陽本線の三石（みついし）の旧トンネルに移り、他の一半は興津沖の深海に宇宙線を求めるべく準備にいそしんでいる。

イギリス植民地時代に見出されて掘出されたインドのコーラ金鉱、この堅坑の中を1人の日本人が降りて行く。タタ研究所に招かれた大阪市大の三宅三郎氏である。地下2,000m、地熱で汗が吹出す。坑内で人に行会ったときには、相手に手持ちの塩水を湯のみに入れて差出すのが作法になっているとのことである。



第1図 ボリビアのチャカルタヤ宇宙線観測所。

横坑にすえつけられた宇宙線観測器、さすがにこの深さでは、地殻を貫通して到達する宇宙線の数も月に何個というほどもない。細心の注意で器械が点検されてゆく。

こうして世界で最も深い場所での宇宙線の貴重なデータが集積され、さらに深い所へと、装置は移されてゆく。

地球に降り注ぐ強力な放射線

A 「乗鞍での宇宙線の観測、アンデス山脈の5,000mもの高山での観測、そしてトンネルの中や何千mもの地下での実験、そんなお話をうかがっていると、宇宙線研究というのはなかなか勇ましいお仕事ですね。でも、物理学者の心をこのようにとらえてはなさない宇宙線というもの、一体どのようなものなのでしょうか、そして一体いつごろからこのような研究がはじめられたのでしょうか」

B 「ひと口にえば、宇宙線とは地球に降り注ぐ強力な放射線のことです。放射線といってもいろいろありますが、宇宙線は電気を帯びた非常に高速の微粒子です」

A 「微粒子といえますと……」

B 「物質は原子からできているということをご承知でしょう。しかし、原子も詳しく調べると構造をもっています。中心に重い原子核があり、外側を電子が回っています。一番簡単な原子は水素原子ですが、その構造は電子が1個外側を回り、中心の原子核は陽子といわれるプラスの電気をもつ粒子です。次はヘリウム、2個の電子が回っていて、中心の核は陽子2個と電気を持たない中性子といわれる粒子2個からなっています」

A 「そのお話と宇宙線とどうつながるかということをも……」

B 「宇宙線を形づくる微粒子は、この水素原子核の陽子、それにわずかのヘリウム以上の原子核、電子もわずかながら含まれています。もっともこのお話は地球に入る前のいわば生（き）の宇宙線のすがたです。厚い大気層にさえぎられて、地上へはこれらの粒子がそのままの形ですり抜け、到達することはむずかしいのです。そう、ちょっとあなたの手のひらをひろげてごらんさない……」

A 「こんな具合にですか？」

B 「ハイもう結構です。いま手を出しておられた5秒ばかりの間にも、数十個の宇宙線が手のひらを通じたのです……」

A 「でも手のひらを数十発通過しても何も感じない、そして目にはもちろん見ることもできない、そんな微粒子が地球に降り注いでいることを、どのようにしてみつげ出すことができたのでしょうか」

B 「物理学に大きな影響を与えた大発見が、ほんの偶然なチャンスから見出されたという例をよく聞かれることでしょう。しかし、発見当初はたとえ偶然のように見えるものでも、後になって考えてみれば、その発見までの基盤がつちかわれていて、決して偶然にものごとが進んでいったためではないことがわかります」

A 「そうすると、宇宙線の発見も一見偶然のチャンスから生れた例なのでは……」

B 「金バク検電器というのをご存じでしょう。エボナイトの棒をネコの毛皮でこする。そうするとエボナイトに電気がおきる。この電気を金バク検電器に移すと、ハクが開く……」

A 「金バクに電気が移ってその反発力でハクが開くわけですね」

B 「そう、この開いたハクをそのままおいておけばどうなるか。やがてハクはしぼんでしまい、くっつきまします。どうしてハクがしぼむのか、つまり、どうして電気が逃げてしまうのか、今世紀のはじめごろ、その原因に興

って研究をはじめた人々がいました。オランダのドイツのコールヘルスターという学者たちです」「ほんのわずかのことから、そこに疑問をもって進んでゆく、そうすると、やがてそれが大きな世界、道となるのですね」

「しかし、この研究はなかなか思うようには進みませんでした。まず、金バクを支える器を通して逃げるにおさえねばならない、完全に電氣的に絶縁して、多えてみると、地面にあるごくわずかのラジウムから放射線もバカにならない。放射線が空気を通れば、原子の電子をはねとばして多くのイオンを作る。バクがプラスに帯電したものなら、この電子を吸いこみ電気が中和され、バクは閉じてしまうわけです。つまり、地面からの放射線だけではバクがとじるのが早いです。これ以外の放射線がどこからかきていたのでは、と考えたのが、宇宙線発見のいとぐちとなったわけです」

「ずいぶんたよりない推論のような気もしますが、地面からの放射線なしに実験するというわけにはいりません。どうでしょうか」

「その通りです。まず検電器をエッフェル塔に上り、みたり、氷河にもって行ってみたりしたわけです。しかし、この程度ではまだはっきりしたことがわからず、結局のところ自由気球に改良した測定器をつけて数回上空に飛ばしてみました。ちょうど第1次世界大戦直後のことです。上空では地上より放射線が強い。つまり、地球の外から放射線が降り注いでいるらしいと考えることができました。

放射線として知られていたのは空気中をわずかに通るだけで止ってしまう程度のものでした。

地球の外から日夜をわかつた放射線が降り注いでくると、しかもこの放射線は大気を通って地上までもくるわけですから魅力的なこの考えも、一見とびに思われてなかなか一般に信じられるところまでにはいかなかったようです。

球で測定をつづけたヘス、コールヘルスターは苦節のこの考えが正しいことを、何回もの実験の後に、示すことができないものであることを示しました」

「10年間も初志を曲げずにがんばってやっと宇宙線が生まれたわけですね」

「ひとたび、宇宙線の存在が確かということになったこの強力な放射線が何であるか、また、どこからかという疑問が多く、学者の興味をそそったわけですね」

「地球の外からくるとして、太陽からという可能はなかったのでしょうか」

「太陽からくるとすれば、宇宙線の強さは夜と昼に違はずです。それには宇宙線強度が1日のうのように変わるかを知る必要があります。

金バク検電器のような不安定なものでなく、改良した装置を使って連続観測がはじまりました。結果は否定的でした。1日のうち宇宙線はごくわずかしかな変動しないのです」

描き出された宇宙線像

A 「そうするとどこから……」

B 「宇宙線が入射してきた道を逆にたどってゆくと、少なくともわれわれの銀河くらいの大きさで数万年もかかる大きな容積のどこかで生れたとしか考えられなくなります。そのためには銀河の構造も星の性質も、そしてまず何より宇宙線そのものの性質を詳しく調べる必要にせまられてくるわけです。

宇宙線強度のごくわずかな変動をさらに追求していったグループは、やがて地球物理学的な宇宙線像を完成していきました」

A 「といえますと……」

B 「磁気あらしにともなう宇宙線の変動、太陽活動の11年周期につれて宇宙線も変動すること、太陽の爆発にともなって1年に1度くらいは宇宙線が一時的に増加することなどの現象は、地球近傍の空間をしらべる手掛りとなったわけです」

A 「性質のよくわかっている太陽系の近傍から研究を手掛けたわけですね」

B 「戦後、銀河系の構造や星の性質が天文学の方で少しずつ解明されかけたころ、宇宙線研究も目を遠くへ転じて、宇宙線発生の本題にとりくみはじめました。

それまでは測定器も、これを超高空に持ち上げる気球も、また星についての知識も余りにも不十分であったからです。

大気球にとりつけられた測定器が各所で上げられ、大気入射以前の宇宙線の姿がとらえられはじまりました。

一方天文学では星の生成と構造の理論について、大きな発展があり、また星や銀河からの電波の観測がおこなわれはじまりました。光をとおしてだけ推論されていた銀河の構造はそれ以来電波の目をとおして大分明らかにしてきたといえるでしょう。これらの知識をもちよって、宇宙線が、銀河の中で、また星の近くで、どのようにして生れ、育ってきたのかといういくつかの推論が可能になりました。いま一番確からしいと信じられているのは、超新星といわれる大爆発をする星から発生したという説です」

A 「ロケットや人工衛星の発達にともなって、宇宙線研究は今後どのように発展して行くのでしょうか」

B 「気球では完全に大気外に出ることはできません。非常に精密な測定は人工衛星でおこなわれ、宇宙線は星や銀河の知識を与える第3の目、として、大きな役割を果たしてゆくことでしょう。宇宙についての構造、さら

さかのぼってその創生にいたるまでこれから解かねばならぬ問題は山積している現状です」

—— 地中を貫くエネルギー ——

A 「宇宙線がどのようにして生れたかということのほかに、宇宙線とは何か、という研究はどのように発展していったのでしょうか」

B 「宇宙線の本体がわからなければ、その起源がどこかという推論もできにくいわけです。この二つの研究はお互いに深い関連をもって発達してきたわけですが、一方は宇宙へ、一方は素粒子の世界へとつながってゆきます。宇宙線の発見当初は原子や放射線の研究がはじまったばかりのころです。

放射線の研究から理論の発達のいとぐちを見つけようという時代ですから、この強力な放射線である宇宙線の研究は大きな期待をもってむかえられました」

A 「よくラジウムから出る放射線は鉛板数cmで大部分吸収されてしまうという話をききます。宇宙線はどうなのでしょう……」

B 「宇宙線研究も、まずそこから出発しました。鉛板10cmで30%くらい減少したのですが、それ以上いくら積重ねても変化なしという結果でした」

A 「ラジウムと比較してよほど強力な放射線ということになりますね。トンネルの中にもぐって見たらどうでしょうか？ トンネルの上にある大量の土がこの宇宙線をさえぎるのではないのでしょうか？」

B 「たしかにそのとおり。しかし、宇宙線の数は一減少しても、わずかながらまだ存在していました。あとでまたお話しますが、日本の上越線清水トンネルでもこの実験がおこなわれました。戦争直前のことです。地上の1万分の1というわずかな量ですが、この地下深いトンネルの中へも宇宙線は貫通していました」

—— 霧箱で宇宙線を見た ——

A 「そうすると、その本体は一体何なのですか。はめにお話になったエネルギーがバカバカしく大きい陽なのでしょう」

B 「面倒な理屈はともかくとして、陽子では地下10くらいを貫通するのがせいぜいです。このように放射線のいわば強さを調べることのほかに、射線の本体を直接的に調べようという、学者の一派がにありました。

ウィルソン霧箱、これはまた後で詳しくその原理をお話と思いますが、この装置では、放射線が通過し直に沿って霧が発生し、通路を直接写真にとったり目見ることができます（第2図）。

霧箱の発明によって物理学者たちははじめて宇宙線が

通過するさまを目のあたり見るできるようになりました。

霧箱だけでは宇宙線の通路だけしかわかりませんが、この側に強力な磁石をおくと電気を帯びた粒子はそれぞれそのスピードに応じて曲ります。

曲り方と霧の濃さ、曲り方と粒子の透過力の関係などを調べて粒子の質量が推定されます。このようにして宇宙線の中から次々といままで知られていない粒子が見つけ出されました」

A 「原子を構成する電子、陽子、中性子以外の粒子ですか」

B 「そうです。まず陽電子、次にミュー（ μ ）と呼ばれる中間子、これ以外の中間子が続々と見出されました。霧箱と大型磁石という装置はごく最近まで宇宙線研究に欠かすことのできない道具立てでした」

A 「陽電子というのは……」

B 「電子はマイナスの電気を帯びていますが、陽電子とは、字の示すように、プラスの電気をもらった電子です。新しい粒子の発見は、理論の基礎に大きな進歩を与えたと同時に、さらにこの理論をもとにして宇宙線の現象が解明され、宇宙線研究の次の段階への手掛りを与えてゆきました」

—— 写真乾板が新手 ——

A 「ウィルソン霧箱と大型マグネットを使って新粒子の研究がいまもおこなわれているのでしょうか？」

B 「霧箱の次に現れた目で見える測定器は原子核乾板といわれる特殊な乳剤を使った写真乾板です。これを使って宇宙線粒子が通った跡を顕微鏡で見ることができず。霧箱と違って操作が簡単であり、また $1/1,000$ mmという精度で測定できますから、精密な分析ができます。原子核乾板を使って湯川中間子をはじめ、いろいろな中間子が発見され、その性質が調べられたのはここ10年ぐらいのことです。その後、宇宙線のお家芸だった新粒子の研究は人工加速器の発達にともない、加速器による研究テーマとなり、宇宙線研究は加速器の何万倍以上という高いエネルギーの領域での素粒子の性質を調べる方向にすすんでいます」

A 「具体的にはどのようなことでしょうか？」

B 「非常にエネルギーの高い宇宙線が原子核に衝突したとき、どのような現象がおきるのかを詳しく調べます。この場合、より高いエネルギーの現象がより本質的な性格を見出すのに都合がよいはずですが、しかし、エネルギーのきわめて高い宇宙線は数が少ないのです。

原子核乾板はじめ、その他のいろいろの装置は必然的に巨大化してゆきます。

山での観測はより高い観測所へ、地下での観測はより深い地下を求めて未知の現象の探究が進められています。

かつて1kg程度の観測器を積んで怪々と上昇した気球も、いまは何という測定器を積んで上昇してゆきます。またそれを可能にしないてはならないのです。新しい測定器と新しい研究施設、そして新しいアイデアが未知のものの探究には常に要求されてやみません。

金バク検電器の中からほぼそと生れでた宇宙線が、地球近傍の研究から宇宙の構造を調べる先兵として、また鉛板の吸収から新粒子、次いではこの世界を形成する素粒子の振舞いを調べる有力な方式へと発展していったことは、発見当初には思いもよらなかったことでしょう」

日本人が原子核乾板を改良

宇宙線観測方式に革命をもたらし原子核乾板、その開発の第1ページを飾るものは日本人である、といったら、驚く人があるかもしれない。いまを去る約50年前のことである。

ケンブリッジ大学のラザフォード研究室は当時原子核

残念なことに、木下博士の発見はその後すぐ大きく発展することなく、ひとつのおもしろい測定法としてとどまってしまった。それは、帰国された当時の日本で、それをさらに改良して発展させるための基盤が薄かったと同時に、後に乾板が大きく改良された時期のように、是が非でもその測定器を必要とする時代にもいたっていなかったためだろう。いずれにしても、時期が早すぎたといえるだろう。

写真のフィルムに光を当てると黒い像が得られる。強い光をあてればより黒く、露出が長ければやはり黒化度は増す。光が乾板中の臭化銀の中の電子をより多くはねとばすからだとされている。

電気を帯びた放射線が臭化銀に当たると、電気的な力でやはり電子をはねとばす。こうして放射線も乾板に感光するものと考えられている。一見露出時間にも光の強度にも対応するものがないと思えるのだが、前者は粒子のスピード、後者は粒子の帯電量がこれに当たる。

大きい荷電をもつもの、そして、遅い粒子ほどよく写

る。この条件だけでは陽子も電子も同じように写りそうなのだが実際はそうはならない。止るまでの距離が違うからだ。

陽子が1mm走れる時、同じ速度の電子は $\frac{1}{1,000}$ mmもゆかず止ってしまう。1mmの長さは軌跡として認識されるが、 $\frac{1}{1,000}$ mmではカブリにかくれてどうにもしようがない。

こうして、軽い粒子の観測には、速度の速い粒子でも写せる高感度の乾板が要求されるようになった。

原子核乾板開発の第2の時期はウィルソン霧箱が全盛をきわめたときに訪れた。それは第2次世界大戦の暗雲がたちこめる少し前のことである。普通の写真乾板をいろいろ化学

第2図 乗鞍山のウィルソン霧箱がとらえた空気シャワー。

研究のメッカであった。各国の優秀の集る中に木下季吉氏は放射能の研究にとりこんでいた。ケイ光物質を放射能物質のそばに置く、放射線がぶつかるたびに、ケイ光体はかすかな光を放つ。それを虫メガネでとらえて数えるのだ。一度出た光は消えてしまうのだから、見なおしはきかない。

そこで木下氏は写真乾板を使うことを思いついた。放射能物質から出たアルファ線（ヘリウムの原子核）を乾板にあてて現像する。乾いた乾板を顕微鏡でのぞく。そうして彼は入射したアルファ線の跡にかすかに現像された銀粒子を認めることができた。ベックレルは放射線の写真作用によって、放射能の発見へと導かれていったが、1個のアルファ線が乾板の中に一つの軌跡を作り、計数装置として乾板を使うことは考えおよばなかった。

処理して感度をあげる努力が続けられ、日本は富士写真工業と組み、ドイツはアグファと、そしてイギリスはイルフォードと組んで、ウィルソン霧箱ではつかまえることができない原子核破壊現象の分析がすすめられていた。しかし、宇宙線の特徴はエネルギーの高いところにある。速い粒子は別として、遅い粒子だけの分析は結局霧箱からの分析の敵ではなかった。戦争という過酷な条件の下で、乾板開発の意欲も次第にうすれていった。

だが、ここに1人のイギリスの物理学者がいる。その研究と努力とによって1950年にノーベル賞を受けたパウエル博士であった。

その昔海賊の根拠地として栄えたブリストルの町、その丘の上にある静かなブリストル大学で当時彼がどんな思いで原子核乾板の開発にはげんだかは、直接ご本人に

おうかがいしたわけではないから知る由もない。ただ想像するより仕方のないことだ。

戦前派が普通の写真乾板に手を加えた程度の方式をやめて、原子核乾板独自の性能向上のための本格的研究にイルフォードをさそいこんだ。彼はよほどの信念と見通しをもっていたに違いない。当時なぞとされていた宇宙線中間子の性質は乾板をおいて解決できない。

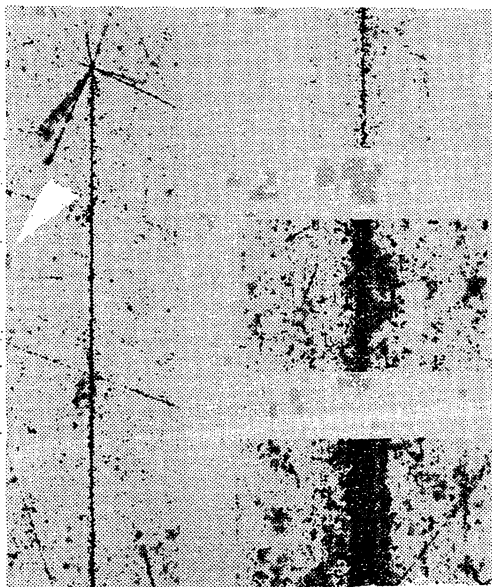
また、乾板の開発によって宇宙線研究の方式は大きく変更を余儀なくされるだろうというような、さなければ、行悩んで1人去り、2人去るような重大な時期に、どうしてイルフォードのような組織を彼が動かし得たのであろうか。そしてとうとうその実が結ぶ時がきた。

乾板は電子さえとらえた

1947年チャカルタヤ山上に露出した高感度乾板は奇妙な形の軌跡をとらえた。

それは、宇宙線にそれまでつかまえていたいわゆるミュー(μ)中間子が、別の中間子(パイ中間子: π)から1億分の1秒という短い時間で生れ出た姿であった。宇宙線中間子と湯川中間子の性質について実験結果と理論的予想が大きく食いちがい、物理学者を悩ましていたなぞが解決された。これより少し前、坂田昌一博士らはこの矛盾を解決するため、湯川中間子が短時間でミュー中間子にこわれるモデルを提唱したが、この理論的予想をそのまま実証する実験の結果であった。

しかし、この乾板もまだ高速で走る電子をつかまえるには不十分であった。2年後、ついに電子をも十分に写す乾板が完成した。これをG5乾板とよんでいる。電子よ



第3図 上方から入射した高エネルギー粒子が乾板中に作ったジェットシャワー。下方に噴出するのは数百本の中間子のたばである。右側の写真は、上から下へそれぞれ中心から2mm, 6cm, 15cmの位置のようすを示す。

り小さい荷電をもつ粒子がない限り、あらゆる粒子をの乾板で精密に分析することができるはずである。

乾板は気球にとりつけられ、宇宙線の多い上空へとばれていった。そして、この新型原子核乾板のつかまえたものは、高エネルギー宇宙線粒子が乾板中の原子核衝突してジェット状に多数の中間子をたたき出す、いわゆるジェットシャワーとよばれる現象であった(第3図)。高エネルギーでの素粒子の本格的研究はこれを契機してはじまった。そしてまた、霧箱で見山されたK中間子といわれる別な中間子の詳しい分析がこの乾板でなされ、それはそのままその後発達した加速器での研究主眼へと移っていった。

原子核乾板の開発はG5乾板の完成の時をもって一応の時期を画するとしてよいであろう。後は研究に使いたすいように変形すること、たとえば、ガラスなしの乳剤だけの乾板を重ねて使う方式の発明である。原子核乾板の泣き所は、乳剤面の薄さにある。普通の写真乾板は $1/10$ mm程度、それを原子核乾板では1.2mmまでにした。これ以上厚くては現像することはできない。しかし10cmの軌跡がほしいとき、この厚さではチャンスは $1/10$ しかない。数の少ない宇宙線現象を相手にするとき、このことは致命的であった。

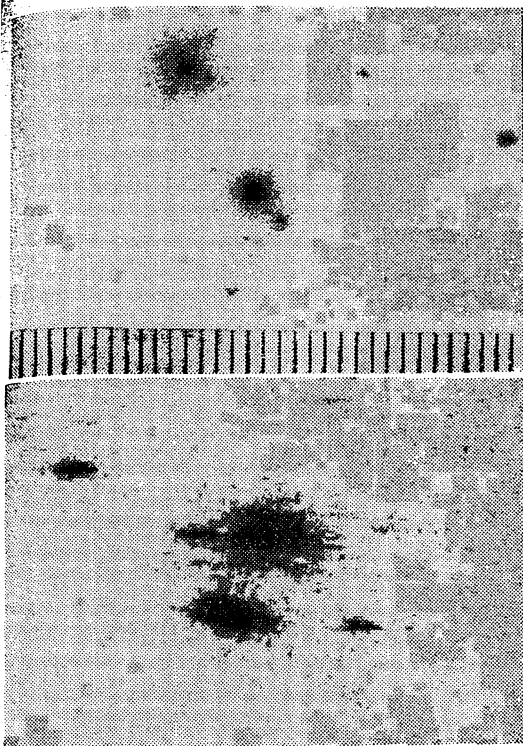
乳剤の板を何枚も重ねて宇宙線に露出する。現像の時はガラスに張りつけてからおこなう。このようにして10cmの軌跡も10枚隣の乾板へつなぐことによって10cmの軌跡が得られる。この乾板をベリクルと呼ぶが、ベリクル方式の発達にともなって、1回の実験に使用できる乾板の量と分析の精密度は飛躍的に上昇していった。

はじめは乳剤10ccを気球につけていたのが、ベリクル方式の開発された1953年には1gが単位に、そして10g単位はやがて過ぎて100g単位の現在にいたった。かつて原子核乾板は最も安価な研究方式であったのが、いまや巨額の費用と人力を必要とするようになってきた。

宇宙と素粒子のナゾを秘めた無限の可能性をもつ宇宙線は、その数が余りにも少ないがゆえに、乾板は巨大化した。その限界が費用と人力の限界で訪れるであろうというのは、この方式そのものの限界を示すものなのであろうか？

アメリカは正攻法で100gのベリクルを大気球に積んで成層圏へ、日本は鉛板と乾板との組合せ、エマルジョンチェンバーと呼ばれる方式で少量の乾板で最大の効果をねらう予定で山上へ、老舗(しにせ)のプリストルは本物の真似は小しゃくだが、さりとて費用のこともあるので日本のアイデアをすこしモディファイして飛行機でと、やり方はそれぞれお国がらを反映していてもしろい(第4図)。

ここで一言書かせていただけるなら、富士フィルムG5級乾板の大量生産に成功したこと、小西六でシャワー検出用フィルムを作ってもらっていること、この二



第4図 乗鞍山上に作られたエマルジョンチェンバーにとらえられた大シャワー。一つの大黒点の中は下の写真のように数個の大シャワーからなっている。

なしには、日本のこの方面の研究は大きく渋滞したに違いないことを強調しておきたい。

宇宙線をとらえるには

宇宙線の発見は、金バク検電器の観測から生れたが、その原理は宇宙線が空気中の電子をはね飛ばし、作られた正負イオンが金バクの電気を中和する点にあった。この装置を改良し安定化したのが電離箱である(第5図)。

電離箱は、宇宙線関係で初期に作られたものは、鉄製のがんじょうな器に数十気圧のアルゴンをつめたものである。気圧が高ければ作られる正負イオンの数がふえ、感度も上がる。

30年前の装置がそのまま現在まで安定に動いている。ただ感度が鈍いので、1個の粒子をそのままとらえることはできない。

次にあらわれたのがガイガー計数管である。宇宙線粒子が1個通過すると電気的なパルスが出る。これを増幅して計数管を動かすこともできる。

計数管を2本並べて同時にパルスの出るときだけひろえば、それは宇宙線が2個の計数管を貫いたときである。粒子の到来方向もこのようにして知ることができる。

ウィルソン霧箱は宇宙線研究を大きく進めた主要な装置である。

霧の深いゆううつなロンドンの冬、ウィルソンはパイ

プをくゆらせながら霧や雲の発生に思いを致していたに違いない。湿度が100%をこせば、水蒸気は水滴となる。ただ、100%になる水蒸気量は、その時の温度によって違ってくる。寒い時は水蒸気量が少なくてもすぐこの限界は訪れる。夏空にあらわれる積乱雲は、あたためられた地上の空気が上昇気流を作り、上空で膨張した空気は急激に温度降下して雲を作る。気体の断熱膨張は温度の低下をまねくからだ。

ここに思いついたとき、彼は奇妙な箱を作ってみた。それはガラスの器の底にピストンをつけたものである。この器の底に水を張り湿度を100%近くにしておく(第6図)。こうしてピストンを急激に引いてみた。中の気温が下がり霧が発生した。もういちど引いてみる。こんどは心なしか霧が淡い。こうして数回引くうちに霧の発生はとまった。湿度100%をこしても中心になるちりがない限り霧の発生はおきない。

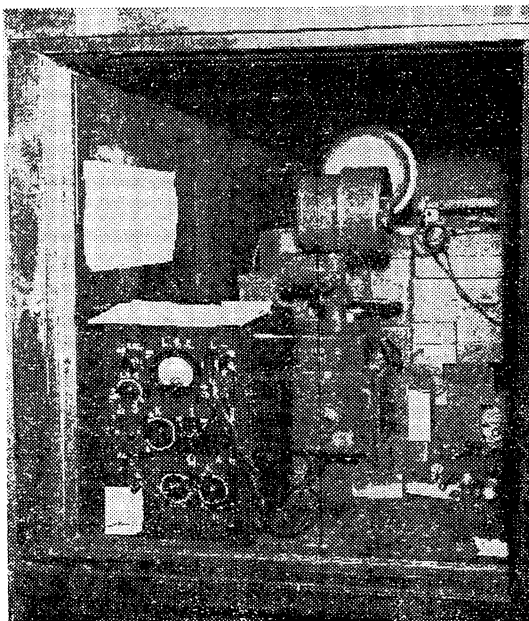
イオンもまたこの中心核になりうることを彼はやがて発見した。宇宙線がとおる。道すじにそってイオンができる。そしてそのイオンが核となって霧が軌跡を作る。

この時から目に見えない宇宙線が目に見えるものとなった。

ガイガー計数管を霧箱の上下に並べ、同時放電のあったとき霧箱の膨張をおこなう。計数管コントロールの霧箱は宇宙線のさまざまな姿をわれわれに見せてくれるようになった。

乗鞍の宇宙線観測所には世界最大を誇る霧箱が今日も動いている。前面が約2m×1m、鼓膜の破れるような音とともに膨張がおこなわれる。ここにも測定器巨大化のあらわれがある。

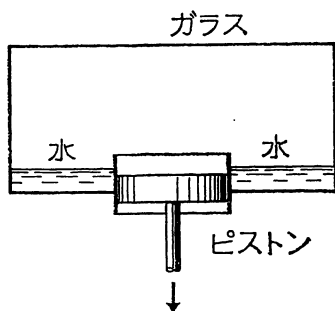
シンチレータは、戦後のニューフェースの測定器と



第5図 仁科式電離箱。

して登場した。原子核乾板の先覚者木下博士を難渋させた例のケイ光物質である。もちろんこの歳月の間に測定法は大きな進歩をして再登場してきたのである。光に対して人間の目よりはるかに感度のよい光電子倍增管という真空管が發明された。ケイ光物質も粒子通過後1億分の1秒という短い時間だけ光を出す物質が見出された。出た光は光電子倍增管で電氣的パルスにかえ、さらに増幅する。

ガイガー計数管と似ているが、安定度のよいことのほかに、次の2点がすぐれているためにガイガーにとってかわった。



第6図 ウィルソン霧箱の原理。

一つは分解時間が短いこと、ガイガー計数管は100万分の1秒だから $\frac{1}{100}$ である。次に粒子がはね飛ばした電子の量にほぼ比例したパルスを出す。電離箱と計数管の両方の利点をさらに深めたこの測定器が登場したのは当然のことである。

—— チェレンコフ効果の発見 ——

屈折率の高い物質中の光速は、真空中のそれに比べて屈折率に逆比例して遅くなる。

もしこの物質中を光速より速い荷電粒子が通過したらどうなるか、ソ連の物理学者チェレンコフは、船が走るとき、さざなみをたてるように、この粒子からも光が出るのではないかと考えた。電気を帯びた粒子が高速で走るとき、粒子のそばの電氣的状態は光ときわめて似たものとなる。その光が粒子についてゆけず、脱落するというアイデアである。そしてチェレンコフはたしかにその光を観測することに成功した。

チェレンコフの光は発見後10年を経て測定器として登場した。この光はその発生原因からもわかるように、高速の粒子だけから放出される。これが他のどの測定器とも著しく違う点である。高速粒子だけ観測したいとき、その速度にあわせて適当な屈折率のものを選ばばよいわけである。

名古屋大学の裏手にある丘にそびえるドームの屋根、その中にチェレンコフ光を使って宇宙線中の高速粒子だけをとりえる宇宙線望遠鏡がある。光はシンチレーターと同じように電氣のパルスにかえられる。

—— 今年の新顔は ——

1963年のニューフェイスは何か。それはスパークチェ

ンバー(第7図)である。2枚の金属板を向い合わせて電圧をかけ、電圧をだんだん上げてゆくとやがて放電がおきる。この放電がおきる少し手前の電圧にしておくとか何ごともおきはしない。ただそのとき、宇宙線粒子が通過すると、イオンが作られ、それが種となって放電を開始する。このことはすでに知られていたが、後続放電のため粒子の通った道すじがはっきりしないうらみがあった。

福井崇時(名大)・宮本重徳(大阪市大)の両氏はふとしたことから、粒子通過後非常に短い時間だけ電圧をかけてみてはどうかと考えた。

後続放電はあとを断ち、粒子の通路にそってきれいな放電の軌跡が得られた。

霧箱が水滴にたよる以上、湿度の調節が微妙であること、それにもまして膨張機構は大型化への大きな障害となっている。

スパークチェンバーはこのような複雑な機構なしに安定に働く点が特徴といえよう。

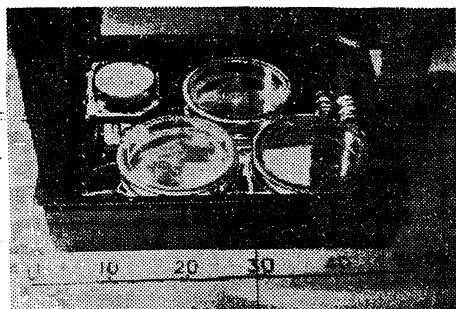
理研の鎌田甲一氏らのグループは、飛行機という特殊な条件の下でスパークチェンバーを用いて高空の空気シャワーをとらえることができた。地下深く貫通するミュー中間子を調べるために霧箱にたよっていた大阪市大のグループは、大型スパークチェンバーの建設にとりかかっている。

宇宙線の観測はこれらの基本的な装置の利点を考えて組合わせ、さらにまた、その実験目的に応じて特殊な測定器を付加しておこなわれてきた。

新しい測定器が常に新しい局面を開いてきた事実は忘れてはならないことだと思う。

—— 宇宙線と素粒子物理学 ——

大氣中に入射した宇宙線がどのような経過をたどって地上に到達するのか、いわば宇宙線現象の全体的描像の



第7図 スパークチェンバー。

確立は、発見当初から物理学者たちにとって一つの夢であった。

それには、まず、入射する宇宙線も、そして地上に到達した宇宙線についても詳しいことを知る必要があった。宇宙線が強力な放射線である以上それはそのまま素粒子

物理学完成の道にほかならなかったからである。

この方面での宇宙線の最大の成果はアンダーソンの陽電子発見にはじまる。アンダーソンは霧箱と強力な磁場との組合せで宇宙線粒子を系統的に追求した。当時霧箱は原子核研究に用いられ、このため、ガラス面を水平におくことが常道とされていた。宇宙線は上から降ってくる。そこで彼は霧箱を縦型においてみた。この方が能率がよいわけだ。さらに彼は霧箱の中に1枚の金属板を入れ、強力な磁場の中に霧箱を入れた。

だが、歴史はしばしば偶然と皮肉とを好むものである。1枚の霧箱の写真は電子が入射して金属板で加速されているようすを示していた。金属板通過後の方がエネルギーが高いことを軌跡の曲り方が示していた。実は陽電子が下から入射して上に抜けたのであった。

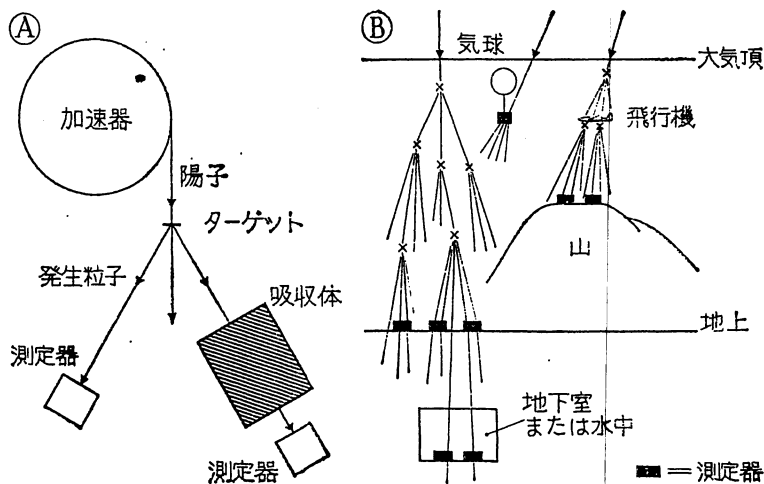
陽電子の発見は当時の素粒子論に大きな力を与えた。これよりすこし前、ディラックは量子電磁力学を理論体系として矛盾なく追求してゆけば、どうしてもプラスの電気をもつ電子が存在せねばならぬことを結論していたからだ。これが量子電磁力学の根本的欠陥にもとづくものであるのかどうか、暗中模索の中に停滞していた時のことである。こうして霧箱の宇宙線粒子の1枚の写真から、量子電磁力学は完成への確固たる第一歩をふみだすのである。

1932年のことである。それから数年の後、彼らは霧箱の写真から電子の約200倍の質量を持つ粒子を見出した。

当時仁科研究室でも同じような写真が得られ、これは湯川博士の予見した中間子に違いないと結論された。そして二つの結論が戦後パイ中間子の発見にいたるまで物理学者を悩ませたことは原子核乾板開発の項ですでに述べたところである。

新粒子の研究が宇宙線の独壇場であったのは、戦後人工加速器の打出す粒子のエネルギーが上がり、中間子を生み出すことができるようになるまで続く。(中間子を作るにはその質量に相当するエネルギーを必要とする。質量とエネルギーは同価であるというアインシュタインの相対性原理にもとづくものである)。

いま、人工加速器を使つての研究主題であるK中間子群、ハイバロン群などといわれる多くの粒子群も、戦後全く理論的予見なしに、霧箱や乾板の中で宇宙線粒子の中からV粒子、タウ(τ)、カッパ(κ)、カイ(χ)中間子などといわれて生れ出たものである。このような粒子が何故に



第8図 加速器と宇宙線測定器の基本的配置。

自然界に存在するのか、素粒子論は次の発展をひかえて悩み続けている段階である。

戦後人工加速器の進歩はめざましく、スイスにはヨーロッパ連合の研究所(CERN)が生れ、30GeV(陽子を300億ボルトの電圧で加速して得られるエネルギー)の陽子を打出せるようになった。

アメリカのブルックヘブン国立研究所にもほぼ同型の加速器が作られ、さらに次の段階をめざして世界各国で計画中である。

目に見えない素粒子の実験の基本的方式は、打出された陽子を原子核に当て、発生した粒子を磁場で曲げたり、吸収物質を通過させて測定器に入れる。シンチレーター、チェレンコフカウンター、スパークチェンバー、乾板、泡箱(Bubble Chamber)、霧箱が動員され、エレクトロニクスを使って集計され分析される。

うちあてられる物質をターゲットといい、その基本的配置は第8図Aのようである。

宇宙線の場合対応して書けば第8図Bのようになる。宇宙という加速器の中から入射した宇宙線は、空気または乾板などのような測定器それ自体に当たり、地球という吸収体でさえぎられる。

万事物が大きいから、測定器も大規模となり、地上に測定器を数kmにわたり分散して置く場合さえある。

大気の厚さは一気圧、つまり約1kgある。大気に入射した宇宙線は約100g通過することによって一度の割合で空気核と衝突する。地上に来るまで平均約10回の衝突をおこなうことになる。

衝突のたびにジェットシャワーをおこし、多数のパイ中間子(このほか、K中間子、ハイバロン、反陽子なども出る)を発生する。発生したパイ中間子が空気核と衝突すれば、さらにジェットシャワーをおこす。しかしパイ中間子は1億分の1秒という短い時間でミュー中間子にこわれるので長く走ることができない。ミュー中間子は空気核と衝突してもほとんど何もおこさず、地下深く

貫通する。以上は電気を帯びた中間子の話だが、中性の
パイ中間子はただちに2個のガンマ線（エネルギーの高い
X線）にこわれる。ガンマ線は空気中約40gで陽電子
と電子を生み、生み出された電子群はまた約40gくらい
でガンマ線を発生する。こうしてネズミ算的に1個の粒
子は増殖し、やがて消滅する。

大別して地上に降り注ぐ宇宙線は、

1. ジェットをおこす陽子、パイ中間子群。
2. 地下まで貫通するミュー中間子群。
3. 電子ガンマ線群。

に分れる。

もし、きわめてエネルギーの高い宇宙線粒子が1個大
気中に入射するならば、上に述べた粒子は数百mの範囲
に一大団となって地上に降り注ぐ。空気中でのシャワー、
空気シャワーと呼ばれているものである。

現在までつかまえられた粒子群の最大のものは百億個
の粒子よりなる集団であった。このシャワーを作ったは
じめの宇宙線粒子のエネルギーは加速器からの陽子のそ
れにくらべ実に100億倍と推定されている。

それ自体素粒子のナゾをとく未知のものを含んでいる
に違いない。しかし、おそらく何億個と思われるジェッ
トシャワーの総決算だけから一つ一つの基本をなすジェ
ットの性質すべてを見出すことはむずかしいであろう。

これよりややエネルギーは低くとも加速器に比較して
きわめて高いエネルギー領域でジェットシャワーを直接
とらえることも望ましいことだ。

未知の現象を求める努力

エネルギーの高いジェットシャワーでの中間子の発生
の様相、またエネルギーの高いミュー中間子の性質、こ
れら未知の現象をもとめて、いろいろの方式が考え出さ
れ現在も進行中である。

乾板を気球にとりつけて直接ジェット現象をとらえて
分析をすすめるもの、新しい測定器を考案して空気シャ
ワーに立ちむかうもの、より深い地下でミュー中間子を
追求するもの、これらはすべて加速器の1万倍以上のエ
ネルギー領域のことである。

高エネルギー領域での素粒子の振舞い、それはかつて
考えられていたよりはるかに複雑な様相を示している。
一歩後退二歩前進しながら解明されてゆくこれらの現象
が、素粒子論の本質とどうつながるかは、もうしばらく
年月をかけて見守らなければならない。かつて宇宙線研
究者たちが暗中摸索して前進しつづけた道を、現在の研
究者たちも歩みつづけているのであろう。

人工衛星が進めた宇宙線研究

1957年タス通信はソ連で人工衛星第1号スプートニク

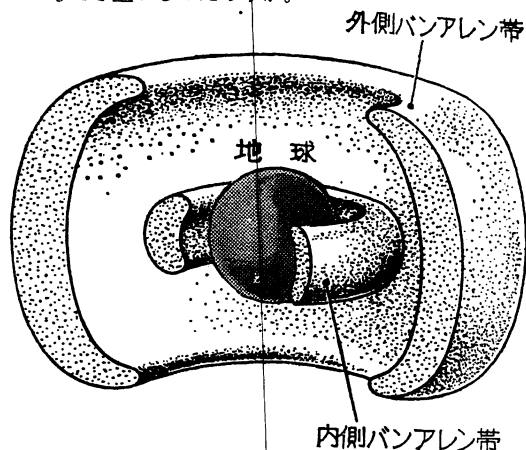
の発射に成功したことを報じた。こうして地球をはなれ
て宇宙に向う人類の長年の夢は、その実現に第一歩をふ
みだした。

それまでロケットによってごくわずかだけ大気外に出
て観測されていた宇宙線も、これを契機として長時間の
精密観測ができるようになってきたのである。

宇宙線の連続観測はそれまで厚い大気にさえぎられた
山上、および地上でだけおこなわれてきた。

これよりすこし前、ロケットの観測から地球の外側に
宇宙線の何億倍という強度の放射能帯があることを人々
は知っていた。発見者にちなんでバンアレン帯と呼ばれ
ているものである。

詳しくいえば、第9図のように外側と内側の二つの放
射能帯からなっている。どうしてこのような放射能帯が
二つもでき上がるのだろうか。



第9図 バンアレン帯。

人工衛星が放射能帯に打上げられ、太陽活動、磁気あ
らしなどの関係が調べられる。その方式はかつて宇宙
線発見当時おこなった手口とあまりかわるところはない。
ただこの年月の間に測定場所がかわり測定器が進歩し、
地磁気の中での粒子運動の理論も、そして宇宙線自身も
その本性が明らかとなっていた点である。

分析はすみやかにおこなわれた。宇宙線が空気核と衝
突してたたき出した中性子（中性子は約10分の寿命で陽
子と電子に自然崩壊する）が、バンアレン帯付近で陽子
と電子にこわれる。これらの陽子と電子が地磁気磁場に
長年にわたってとらえられたものが内側のベルトであ
り、外側は太陽からの微粒子が地球磁場にとらえられた
ものと推定された。

太陽からは小爆発にともなってイオン群が放出され、
磁気あらしやオーロラ、電波障害をおこす。宇宙線とよ
ぶにはやや低すぎるこの粒子群も大気外に出て同時に直
接観測されるようになった。

だが、人工衛星が宇宙線研究に大きな成果をもたらす
であろうことは、むしろこれからの問題というべきであ
らう。どのように発展していくのか、それは可能性とし

各人各様の思いがあるに違いない。しかし、すでにあ
程度観測が進行し、また、計画がすすめられているも
は次のものである。

それは大気入射前の宇宙線の中にごくわずか含まれて
いるガンマ線および電子の観測である。

われわれの住む地球が属する銀河は半径約50,000光年
球状のものと考えられている。球状といっても大部分
星は厚さ約3,000光年に集中しているのだから、むしろ
レンズ状の形態をもっているといった方が正しいかも
れない。

星と星の間は希薄なガスとよわい磁場に満たされてい
る。

これらは天文学者がいろいろの方法で推論した、われ
われの銀河の様相である。宇宙線は銀河を走り回るとき、
この弱い磁場にとらえられ、希薄なガスの原子核と衝突
して、ジェットシャワーをおこすであろう。いわば銀河
シャワーである。発生した中性パイ中間子はガンマ線に
こわれ、荷電パイ中間子はミュオン中間子に、そしてミュ
オン中間子は $1/100$ 秒の後に電子にこわれる。そして電子は
銀河磁場にとらえられる。

銀河の中にこのようにして作られた電子とガンマ線が
ごくわずか走り回っているはずである。

もし、このガンマ線の強度を測定するならば、その方
向のガスの密度を知ることができる。もし、この電子を
つかまえることができるならば、これをとらえた銀河磁
場のような、知ることができるであろう。あるいは宇
宙線がつくられたとき同時に加速された電子が含まれて
いるようならば、それは、宇宙線の起源について大きな
手掛りを与えるに違いない。

われわれは、地球をあまり離れることなしに50,000光
年にひろがる銀河の構造を、解明することができるので
ある。

大気中でつくられたガンマ線および電子の混入をさけ
るため、アメリカのMIT(マサチューセッツ工科大学)グ
ループが粋をこらしたガンマ線測定器を積んで人工衛星
が打上げられたのは3年前のことであった。

地球大気で作られたガンマ線がやはり混入して、結果
はやや不確かであったけれども、やがてガンマ線天文学
・電子天文学がわれわれの前に宇宙の姿を示してくれる
日もそう遠いことではあるまい。

宇宙線の起源

ここでまた宇宙線発見当初からのナゾであった、その
起源の話にもどることにしよう。

宇宙線の本性が明るみにでるにつれて、宇宙線粒子の
エネルギーは莫大なものであることがわかってきた。

太陽をはなれて約10光年、ここでは太陽もただ変哲の
ない星として目に映ることだろう。ここで1秒間に入射



●ご注文は書店へ

◆ 理論と実験例を駆使した画期的名著
化学研究者・技術者必備の書

有機化合物の 酸化と還元

名古屋大学教授 工学博士 小方 芳郎 編

B5判・1032頁 図56,表258
上製本 定価 9,000円

有機化合物の「酸化と還元」は、数多い有機
反応のなかでも最も古くから知られ、また
現在でも最も重要な反応であり、工業的応用
分野も広く、とくに石油化学の発展はその利
用によるところが多い、したがって化学者は
研究途上必ず「酸化と還元」を取扱わねばな
らないといっても過言ではない。

本書では「酸化と還元」を反応試薬ごとに
大別し、反応機構論を基礎に、理論的にまた
平易に解説し、同時に初学者にも反応をたや
すく実験できるよう信頼できる実験例を数多
く挿入した。なお、文献は1963年6月頃まで
の重要なものを記載し、用語は学術用語集に
よっており、索引等は表・脚注のものも含め
詳細に記載した。 【内容見本送呈】

主要 目次	第I編	酸素酸化(自動酸化)
	第II編	一般酸化(化学薬品酸化)
	第III編	接触水素化
	第IV編	一般還元, その他

ポーラログラフイー

＜第2集 新しいボルタンメトリー＞

藤永・丸山編 ボルタンメトリーの分析化学の
B5・¥900 理論, 装置, 応用を詳しく解説

有機薬品合成化学

菅原重彦監修 製造化学専攻過程のテキスト、
A5・¥1300 今回新たに石油化学の章を増補

生薬学実験指針

稲垣 勲他編 生薬学を実習する際に理解を早
めるための好テキストブック、
A5・¥1000

本店 東京都文京区春日町 3-23・振替東京149
支店 京都市中京区寺町通御池南・振替京都5050

南江堂

する光のエネルギーと宇宙線のエネルギーを比較してみ
る。宇宙線の量は地球付近と等しいとすれば、計算の示
すところでは、この二つのエネルギーはほぼ等しい。

一見変哲もないこの比較も、よく考えてみると、実
にふしぎな内容をもっていることに気がつく。光は高温の
星からいともたやすく発生する。しかし、粒子に宇宙線
ほどエネルギーを与えることは並大抵のことではない。

粒子を最も加速しやすいように精密に計算し、最高の
技術と巨費を投じてつくられる大きさ数百mの加速器、
この加速器で打出される粒子のエネルギー総和でさえ
100Wの電球を約100個並べて出る光の総量にはおおよば
ない。

雑然とただ星が集っているとさえ思えるこの銀河の空
間中で、どうして宇宙線が生れることができたのであろ
うか。

最初に出されたのは星の大爆発にともない、粒子が飛
散ってきたのであろうという考え方であった。戦前の
ことである。だが、星の爆発とはどういうことになるの
か。原子核反応であらうという以外わからなかった当時
としては、わからないことを、わからない原因に押しつ
けたといわれても仕方のないことであった。それに、原子
核反応で1個の粒子に与えられるエネルギーは宇宙線粒
子の最小のものにくらべても、わずか $\frac{1}{1,000}$ にすぎない。
こうして星の爆発による起源説は、他の説とともに怪し

げな可能性として戦後まで持ちこされた。

戦後間もなくアメリカ・ミネソタ州の中心地ミネアポ
リスから、巨大な気球が成層圏目指して舞上がって行っ
た。クリスマスも間近いこの寒空にニューヨークにある
ロチェスター大学の研究者たちは期待にもえて、この気
球を見つめていた。

イルフォードの原子核乾板に追いつかねばと、コダッ
クの技術を結集して作られた新型乾板が、この気球には
とりつけられていたのである。

回収された乾板、その中に彼らは極めて濃い軌跡を見
出した。その一番濃いものは、測定の結果荷電30程度を
持つ粒子、つまり鉄付近の元素の原子核が高速で乾板を
通過していることを示していた。

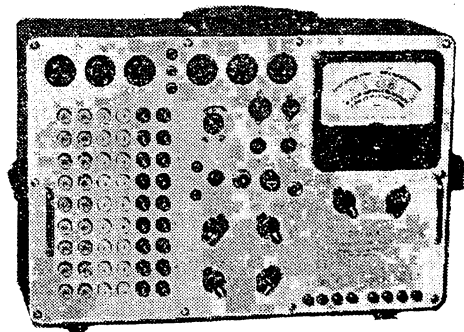
当時入射する宇宙線はすべて陽子であろうと考えられ
ていた。宇宙線にも、地球と同じように、いろいろな元
素が含まれている。これが宇宙線の起源とどうつながる
のであろうか。それはまた後に触れることにしよう。

乾板の本場プリストルで、そしてアメリカで実験はく
りかえされ、やがて一つの事実が明るみに出されてき
た。それはリチウム、ベリリウム、ホウ（硼）素の原子
核が宇宙線中に多く含まれている事実であった。

一般の星のスペクトル分析からこれらの元素は銀河の
中にごくわずかしかな存在していないことがわかってい
る。これらの元素は、とくに加速されやすいのだろうか。

押ボタン式チューブテスター

オートメーション設備の保守に最適な
Gm直読真空管試験器



株式
会社
東京 都港区麻布竹谷町6
TEL (451) 2533, 2743, 0985

三田無線研究所

DELICA

- 一般増巾管
- 複 合 管
- 整 流 管
- 放 電 管
- 小型送信管
- サイラトロン
- マジックアイ
- ペンシル管
- ミクロビスタ
- ニュービスタ
- TV用ブラウン管

2001型 などの試験が出来ます
価格 48,000円

TVチューブアダプター 1,000円

この他各種の測定器を製作してい
ます。科学朝日と書いて切手30円
同封の上カタログを御請求下さい。

そんなことは理論的に不可能である。だとすれば、宇宙線が銀河空間を走る間にこれらの元素が作られたと考えねばならないだろう。

これらの元素より重い原子核の宇宙線が銀河の中にあるガスの原子核と衝突すれば、宇宙線はくだけてリチウム、ベリリウム、ホウ素を作ることができる。そしてこれらの元素の量は宇宙線の通過したガスの量に比例するはずだ。

この考えにしたがって出された宇宙線の通過したガスの量は約3gである。銀河にあるガス密度から推定すれば、宇宙線がこれだけのガスを通過するには100万年から1億年を要する。つまり、宇宙線は生れてからわれわれの目に触れるまでに、これほどの長い旅路をかさねてきたことになる。

銀河系を光が通過するには約10万年を要する。一方宇宙線は100万年から1億年、この差は当時ようやく確かめられはじめた銀河磁場の影響であろうと考えられた。銀河の中にある磁場で宇宙線は直進できず、銀河という器の中にとじこめられるわけである。

たとえ光の $\frac{1}{10,000}$ という悪い発生能率であっても、宇宙線が10,000倍長く銀河の中に逗留すれば、両者のエネルギーは同程度に観測されることになる。

こうして宇宙線の持つエネルギー問題を解くいとぐちがまず見出された。だが、宇宙線をどのようにして加速するかという基本問題は依然として残った。ただもう一つこの実験からわかったことは、原子核がこわれてしまうほど衝撃的な力で宇宙線が加速されたのではないということである。初期の爆発説はここで姿を消さねばならなかった。宇宙線を静かに加速する、そのためには電気的な力で徐々にエネルギーを与えてゆく以外の方式を考えることはできない。

フェルミの着想

人類にはじめて「第2の火」、原子核エネルギーを解放したアメリカの物理学者のフェルミは次のような考えを提唱した。

銀河磁場のかすかなゆらぎ、宇宙線粒子がそのゆらぎにはねとばされて加速されるというのだ。野球のボールがバットで打たれて大きく飛ぶように磁場にたたかれた宇宙線粒子は徐々に加速されていく。もっともこれは正面衝突での話で、追突の時は減速する。しかし正面衝突は追突より確率が高いから加速されるというのである。

一見もっともらしいこの理論もやがて難点に突きあたった。宇宙線を十分に加速するには銀河磁場のゆらぎは、観測されるものの何十倍もなければならない。

ミネソタの気球以来、宇宙線中の元素組成は世界中の研究者によって追試され、さらに精密に分析されていった。その結果さらに宇宙線中には鉄付近の元素が異常に

多く含まれていることも次第に明らかにされていった。

星は元素を合成する原子炉である。銀河空間にみながるガスが凝集して若い星が生まれ、水素がヘリウムに、そして炭素、窒素が合成されていく。合成のたびに、あまったエネルギーは熱となり、光となり、ガスの噴流となって星から放たれる。年をへた古い星ほどより重い元素を、より多く含むようになる。こうして合成が進行し、鉄の元素が作られるようになると星は大爆発をおこす。これを超新星とよんでいる。戦後いちじるしく進歩した原子核物理学の結果にもとづいて推論された星の一生の姿である。

宇宙線に鉄の元素がないこと、このことから宇宙線の起源は超新星と関係があるのではないかと推論したのは名古屋大学の早川幸男博士であった。このように超新星の宇宙線起源説は新しいスタイルで再登場する。

われわれが知っている最も有名な超新星は、現在カニ星雲と呼ばれているものである。いまから約900年前、この星は突然明るい光を放って大爆発したことが古いシナと日本の文献に記されている。藤原氏が平泉に中尊寺を築いて、全盛をきわめたころのことである。

爆発したガスはひろがり、現代にいたるまでに数光年の大きさを持つようになり、その領域はいまなお光を放っている。ただ、この光はただの光ではない。高速の電子が磁場に曲げられて放出する光なのである。そしてこれは近々数年前にはじめて明らかになったことなのである。

爆発にともなって噴出した高温ガス、それにともなって強められた磁場、この数光年の空間の中で、フェルミの提唱したような方式で電子は加速され、宇宙線も加速されたのであろう。

銀河系の中で宇宙線の寿命の間に爆発した超新星の数は何万をもって数えることができるであろう。これらの超新星の一部であったいろいろな元素が加速され、銀河の磁場にとらえられて、驚くほど長い旅路の後に地球に降り注いでくるのである。

空気シャワーで100億個もの粒子が一団となって地上に降り注ぐ例があることは前に述べた。この空気シャワーをつくった親の宇宙線は、また超新星でつくられる宇宙線にくらべて、おそらくけた違いに高いエネルギーをもつものと推定されている。

地球に入射した宇宙線を逆にたどっていくと、この程度に高いエネルギーの粒子は、銀河磁場にあまり曲げられることなしに、われわれの銀河を離れて遠い空間に消え去ってゆく。

天文学者は、宇宙は膨張しつつ100億光年の彼方まで広がりを続けていることをわれわれに示してくれた。この無限ともいえるべき空間の中に数限りない銀河が浮んでいる。

この銀河の中にも、一般の宇宙線が超新星から生れた

ように、活動の異常にはげしい銀河から巨大なエネルギーを持つ宇宙線が作られていくのであろう(本号23ページ 畑中武夫「M82星雲の爆発」参照)。

——日本の宇宙線研究者——

日本の宇宙線研究の歴史は三つの時期に分類することができる。第1期は戦前であり、第2期は戦争直後の混乱期、そして第3期が現代である。宇宙線研究の歴史も一般の社会現象とことなるところはない。

日本の宇宙線研究はまず東京の上富士前にある理研の仁科研究室からはじまる。当時全く得体の知れない宇宙線にとりくんだ仁科博士の達見であり、またその構想も雄大であった。

宇宙線の地磁気による影響を調べるには、緯度の違う所の観測をすることが望ましい。仁科型といわれる丈夫な電離箱を作り、樺太(現在のソ連・サハリン)、北海道、東京、台湾、パラオ島に置き、連続観測をつづけるという計画であった。残念なことにこの計画は戦争のために中断せねばならなかったが、仁科型電離箱はいまも乗鞍山上と理研において連続観測に使われている。

関戸弥太郎氏(現在名大)は、捕鯨船に電離箱をのせ緯度による宇宙線強度の変化を調べ、石井千尋氏(現在気象研)は、気球による宇宙線観測にとりかかり、そして、宮崎友喜雄氏(現在理研)は、清水トンネルに貫通する宇宙線を調べた。これは、ごく最近にいたるまで、地下の最も深い場所での観測として貴重なデータであった。

ウィルソン霧箱と大型電磁石との組合せは、この研究室でも主流を占めていたらしい。アンダーソンにすこしおくれをとりはしたものの、陽電子をはじめ中間子をとらえ、意気大いに上がっていたものと思われる。もしこのまま進行していったならば、日本の宇宙線研究が世界を大きくリードした日が、やがておとずれたに違いなかった。しかし戦争はすべてのものを破壊してしまった。宇宙線研究もその例にもれない。

霧箱および清水トンネルの実験は中止され、人は去り、そして戦後廃墟の中に残ったものは、焼けただれた研究室と、老朽化したわずかの実験器械だけであった。

アメリカは戦時機材のB29をフルに活用し、高山研究所を開き、宇宙線研究を強力に推進していた。一方ヨーロッパでは原子核乾板の開発、それにユングフラウ、その他の山々に観測所をひらき、宇宙線研究は隆盛におもむきつつあった。

戦後日本の物理学でまず花をひらいたのは素粒子理論の面であった。湯川中間子をはじめ、坂田博士らの二中間子論、朝永博士の超多時間理論と……、そしてこれらの理論をもとにしてさらに理論が展開されていった。

残念なことに実験の面は外国に比較して大きく立ちお

くれ、そして日一日とその差はひらいてゆくのがあった。私が初めて理研に勤めるようになったそのころのことをいまも忘れることはできない。

亀田薫氏と三浦功氏の異常なまでの努力によってつくられたシャワーの測定装置、空カンに中古部品で組立てられた回路、赤さびた台。見かけは悪いが、ともかく宇宙線実験上、戦後最初の一打がこのようにして生れた。仁科博士の友人でノーベル賞受賞者ラビ博士がこの研究室をおとずれたとき、博士は驚きの目とともに称賛の言葉を惜しなかった。この一打を出発点に宇宙線研究が隆盛におもむいたのであるならば、この項はこれでおしまになる。しかし日本の宇宙線研究が海外の研究と同等の地位を占めるまでには、なお数年の歳月を必要とした。

戦後、理研のほかに宇宙線研究を手がけはじめたグループが数カ所生れたことは、その後の発展に大きな影響をもたらした。

理研から移った名大の関戸研究室、原子核研究から転向した大阪市大の渡瀬研究室、気象研から移った神戸大の皆川(理)研究室、そしてやや遅れて立教に中川(重雄)研究室、気象研に石井研究室が生れた。各研究室から若い研究者が生れ、その数が20~30に達したとき研究者グループの長年の願いであった高山観測所が乗鞍に朝日新聞社の後援で建てられた。

乗鞍の朝日小屋がきっかけとなり、やがて本格的な乗鞍観測所が建てられた。おそらく第2期から現代へ移行する時期はこの時にあたるのであろう。その3年後に共同利用研究所の原子核研究所に宇宙線研究室がもうけられた。

戦後の混乱の時期から立ちあがってどのようにして現代にいたったか。それは一つの学問体系が日本で成長していった実例として科学的に非常に興味のある問題ではないが、それはまた別の機会にゆずりたい。

ただわかっていることは、戦後10年のたち遅れのたに慢性二流意識に悩まされつづけてきた日本の宇宙線研究が、徐々に海外との差を縮めて、ある日一流に位にいることに気がついたことである。

宇宙線の国際学会は2年に一度の割合で開かれる。近は1959年にモスクワで、次いで1961年に京都で開かれた。国際学会の内容から、人工衛星関係を除くどの分においても、この数年、宇宙線研究の主要結果や発見提唱者の中から多くの日本の研究者の名を見出すに違いない。

アンデス山脈の高山研究所でも、インドでもアメリカ、ブラジルでも、そしてその他の国々でも、宇宙線研究所を訪れる人々は、そこに指導にはげむ日本の宇宙研究者を見出すことができるであろう。

(筆者は1948年東北大学理学部物理学科卒 現在東京大学原子核研究所勤務)